

Artículos

Las Tierras Raras: elementos claves del Siglo XXI

* Mauro de la Hoz. Instituto de Bio y Geociencias del NOA, UNSa - CONICET e Instituto de Geociências, Universidade de Brasília

Este trabajo pretende acercar al público general información sobre un grupo de elementos químicos, las Tierras Raras, considerados como estratégicos para el desarrollo de las sociedades modernas. Se difunde además, dónde se encuentran los yacimientos, es decir, dónde se obtienen estos elementos y se mencionan los yacimientos locales potenciales.

¿QUÉ SON LAS TIERRAS RARAS?

Durante la primera mitad del siglo XIX, luego de la teoría atómica de Dalton y con los avances acelerados en la Química, se expandió el conocimiento acerca de los elementos químicos. Actualmente se conocen 114 elementos, ordenados en la Tabla Periódica por sus números atómicos y agrupados por sus propiedades. Su abundancia varía ampliamente: más del 90% de la corteza terrestre está formada solo por 5 elementos: oxígeno 49,5%, silicio 25,7%, aluminio 7,5%, hierro 4,7% y calcio 3,4%; mientras que en el 9,2% restante están incluidos los otros 109 elementos (Figura 1).

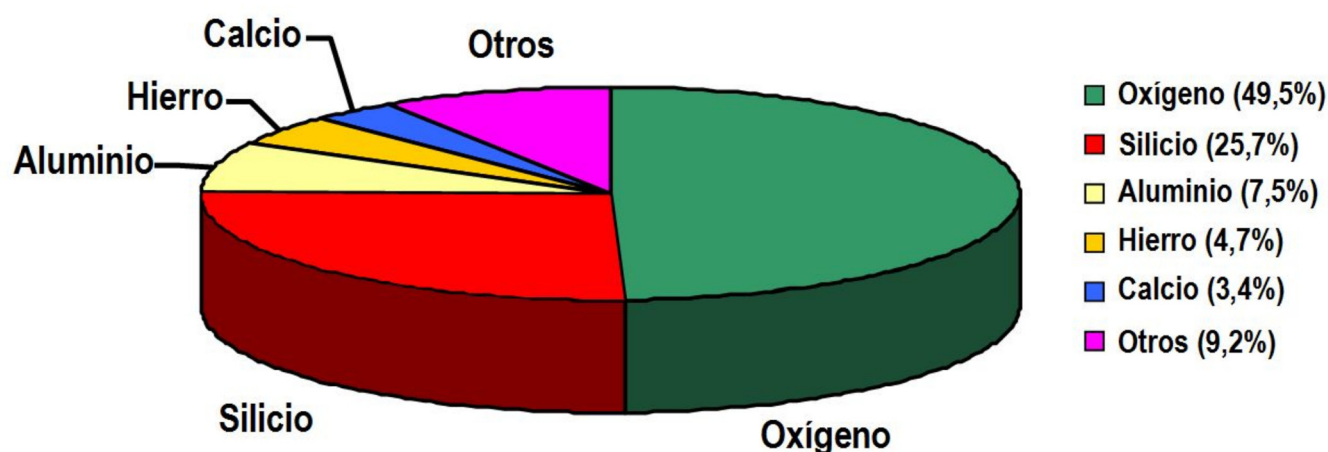


Figura 1: Abundancia de los elementos en la corteza terrestre.

El químico Lavoisier propuso que los elementos químicos se clasificaran en metales, no metales y metaloides (o metales de transición); dentro de estos últimos se encuentran los metales de transición interna, mas conocidos como Lantánidos y Actínidos, que en la Tabla Periódica se ubican debajo de los metales de transición (Figura 2). La Tabla Periódica de los elementos químicos fue presentada en 1869 simultáneamente por el alemán Meyer y el ruso Mendeleev; en ella los elementos químicos son dispuestos en orden creciente de sus respectivas masas atómicas. Se debe tener en cuenta que en aquellos tiempos no se conocía la existencia de protones ni electrones. La Tabla Periódica moderna clasifica los elementos en función de su número atómico.

Los Lantánidos son conocidos también como Tierras Raras, presentan propiedades físicas y químicas muy similares entre sí, por lo que se los encuentra juntos en la naturaleza. A pesar de que inicialmente se consideró que su abundancia absoluta en la corteza terrestre era escasa (de ahí su nombre) actualmente se sabe que su abundancia es relativamente alta, a excepción del Promecio (Pm) que es radiactivo y rápidamente se transforma en otros elementos químicos aunque sus propiedades químicas existen y se lo puede obtener de forma sintética en laboratorio.

Las Tierras Raras son elementos muy parecidos químicamente entre sí y ocupan un lugar particular en la Tabla Periódica, debido a su configuración electrónica (Figura 2). A este grupo se lo suele dividir en dos subgrupos de acuerdo a su masa atómica, el de la Tierras Raras Livianas (Lantano, Cerio, Praseodimio, Neodimio, Promecio, Samario, Europio) y Pesadas (Gadolinio, Terbio, Disproso, Holmio, Erblio, Tulio, Iterbio, Lutecio).

El término “rara” data de principios del siglo XX, debido a que eran elementos difíciles de separar de los minerales que los contienen y por que raramente se les daba una utilidad. El término “tierra” es una antigua denominación para los óxidos y para aquellos minerales que presentaban aspecto terroso.

Aunque la calificación “Tierras Raras” nos podría hacer pensar que son elementos con escasa abundancia en la corteza terrestre, esto no es así. Algunos elementos como el Cerio, el Itrio y el Neodimio son más abundantes que el Plomo; el Tulio, el más escaso de las tierras raras, es aún unas 200 veces más abundante que el Oro o el Platino. Lo raro, en realidad, de estos elementos raros son los depósitos minerales concentrados y de grandes dimensiones en donde los minerales que los contengan puedan ser extraídos por métodos de minería convencional y de forma sustentable.

H Hidrógeno 1	Li Litio 3	Na Sodio 11	K Potasio 19	Rb Rubidio 37	Cs Cesio 55	Fr Francio 87	Be Berilio 4	Mg Magnesio 12	Ca Calcio 20	Sr Estroncio 38	Ba Bario 56	Ra Radio 88	Metales Alcalino - térreos	Metales Alcalinos	Metales de Transición	Otros Metales	Lantánidos	Actínidos	No Metales	Halógenos	Gases Nobles	TIERRAS RARAS	B Boro 5	C Carbono 6	N Nitrógeno 7	O Oxígeno 8	F Flúor 9	Ne Neón 10	Al Aluminio 13	Si Silicio 14	P Fósforo 15	S Azufre 16	Cl Cloro 17	Ar Argón 18	Sc Escandio 21	Ti Titanio 22	V Vanadio 23	Cr Cromo 24	Mn Manganeso 25	Fe Hierro 26	Co Cobalto 27	Ni Níquel 28	Cu Cobre 29	Zn Zinc 30	Ga Galio 31	Ge Germanio 32	As Arsénico 33	Se Selenio 34	Br Bromo 35	Kr Kriptón 36	Y Itrio 39	Zr Zirconio 40	Nb Niobio 41	Mo Molibdeno 42	Tc Tecnecio 43	Ru Rutenio 44	Rh Rodio 45	Pd Paladio 46	Ag Plata 47	Cd Cadmio 48	In Indio 49	Sn Estañio 50	Sb Antimonio 51	Te Telurio 52	I Yodo 53	Xe Xenón 54	Lu Lutecio 71	Hf Hafnio 72	Ta Tantalio 73	W Wolframio 74	Re Renio 75	Os Osmio 76	Ir Iridio 77	Pt Platino 78	Au Oro 79	Hg Mercurio 80	Tl Tlacio 81	Pb Plomo 82	Bi Bismuto 83	Po Polonio 84	At Astatido 85	Rn Radón 86	La Lantano 57	Ce Cerio 58	Pr Praseodimio 59	Nd Neodimio 60	Pm Promecio 61	Sm Samario 62	Eu Europio 63	Gd Gadolinio 64	Tb Terbio 65	Dy Disproso 66	Ho Holmio 67	Er Erbio 68	Tm Tulio 69	Yb Iterbio 70	Ac Actinio 89	Th Torio 90	Pa Protactinio 91	U Uranio 92	Np Neptunio 93	Pu Plutonio 94	Am Americio 95	Cm Curio 96	Bk Berkelio 97	Cf Californio 98	Es Einstenio 99	Fm Fermio 100	Md Mendelevio 101	No Nobelio 102	Lantánidos	Actínidos
---------------------	------------------	-------------------	--------------------	---------------------	-------------------	---------------------	--------------------	----------------------	--------------------	-----------------------	-------------------	-------------------	----------------------------	-------------------	-----------------------	---------------	------------	-----------	------------	-----------	--------------	---------------	----------------	-------------------	---------------------	-------------------	-----------------	------------------	----------------------	---------------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	----------------------	---------------------	--------------------	-------------------	-----------------------	--------------------	---------------------	--------------------	-------------------	------------------	-------------------	----------------------	----------------------	---------------------	-------------------	---------------------	------------------	----------------------	--------------------	-----------------------	----------------------	---------------------	-------------------	---------------------	-------------------	--------------------	-------------------	---------------------	-----------------------	---------------------	-----------------	-------------------	---------------------	--------------------	----------------------	----------------------	-------------------	-------------------	--------------------	---------------------	-----------------	----------------------	--------------------	-------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-------------------	---------------------	-------------------	-------------------------	----------------------	----------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	--------------------	----------------------	--------------------	-------------------	-------------------	---------------------	---------------------	-------------------	-------------------------	-------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-------------------	----------------------	------------------------	-----------------------	---------------------	-------------------------	----------------------	------------	-----------

Figura 2: Tabla periódica de los Elementos Químicos.

Durante muchos años no se le dio importancia a este grupo de elementos “raros” debido a que eran muy difíciles de separar unos de otros. Desde el punto de vista económico, a estos elementos se le suman otros dos elementos que por su estructura atómica no se consideran dentro del grupo, pero sí presentan propiedades físicas y químicas muy similares, y además adquieren importancia económica; estos elementos son Escandio (Sc, 21) e Itrio (Y, 39) (Figura 3). Importancia de las Tierras Raras

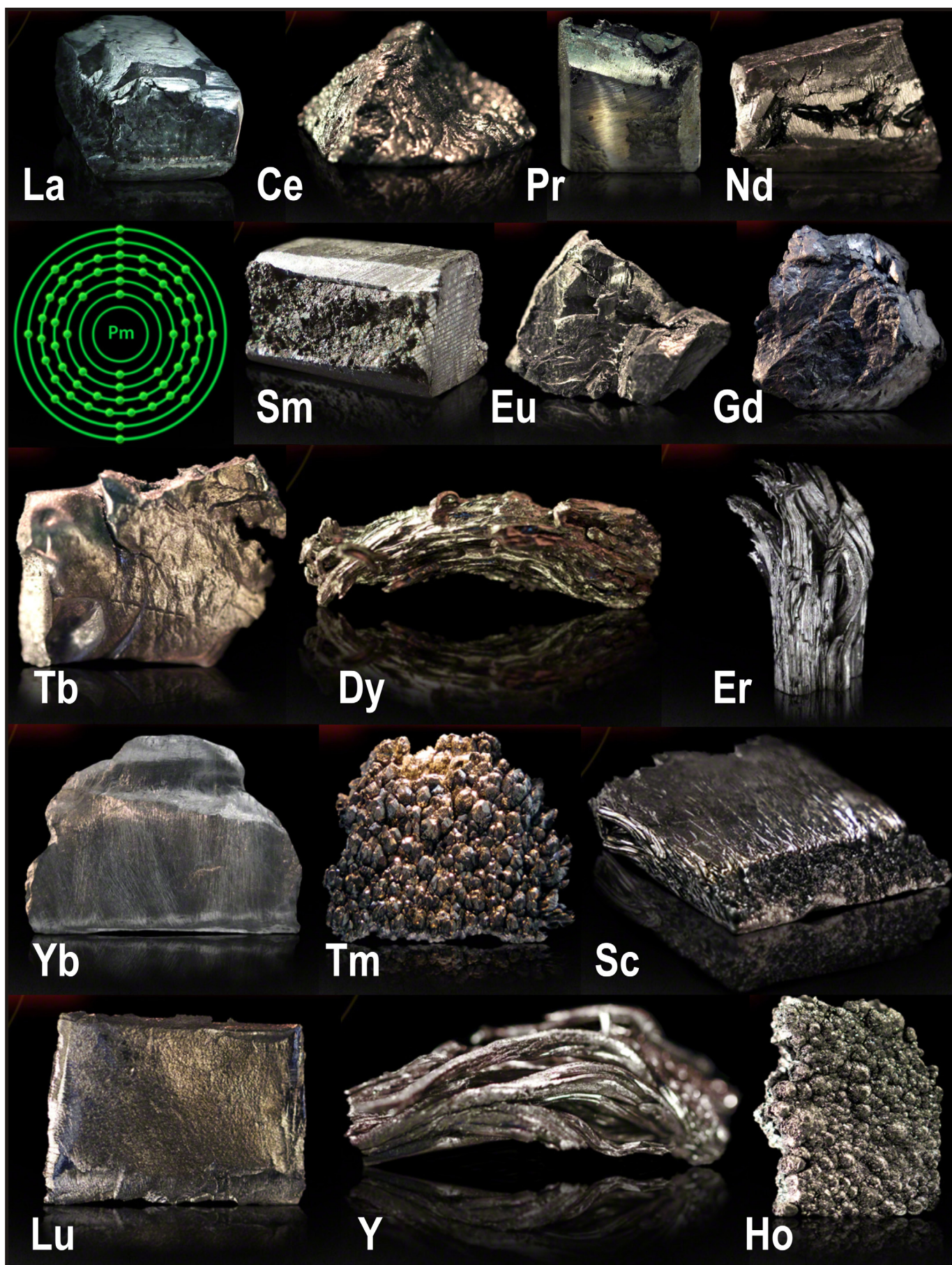


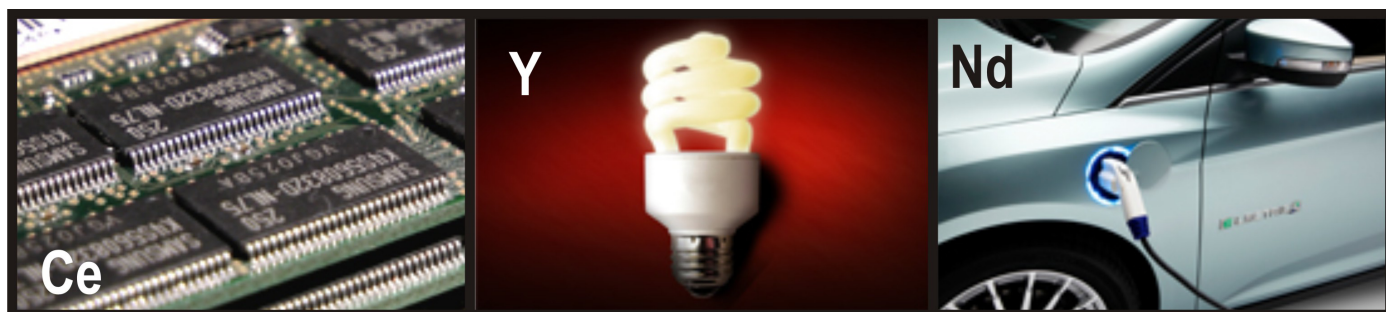
Figura 3: Aspecto metálico de las Tierras Raras. Fuente de las imágenes www.reehandbook.com

IMPORTANCIA DE LAS TIERRAS RARAS

Estos elementos químicos son importantes en el mundo actual debido a que están incorporados en muchos productos y tecnologías básicas que permiten mejorar nuestra calidad de vida; sin embargo, es poco conocido su origen, qué son o por qué son tan importantes para nuestro futuro. Desde hace años se les da un uso intensivo poco conocido para muchos; un ejemplo es el Cerio, que se utiliza en aleación con otros metales para la fabricación de las piedritas que generan la chispa en los encendedores.



El Lutecio se utiliza en las refinerías de petróleo como catalizador, ya que favorece las reacciones en el “craqueo catalítico fluido”, que es un proceso complejo que produce rupturas en los hidrocarburos para la obtención de naftas.



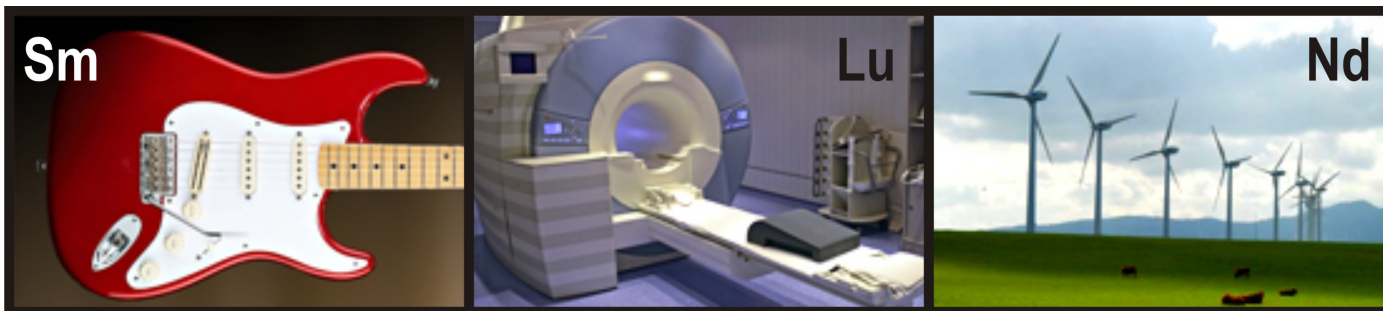
Las Tierras Raras se utilizan también para fabricar imanes permanentes fuertes, materiales superconductores, láser, vidrios y cerámicas especiales de alta resistencia, etc. Sin ellos las pantallas LCD, los teléfonos celulares, las lámparas de bajo consumo y las unidades de disco duro de las computadoras no podrían ser fabricados. También forman parte de todos los automóviles híbridos, turbinas de viento, telefonía móvil, aleaciones especiales para la odontología e incluso en equipos de rayos X que se utilizan a diario en medicina.



Otro caso particular es la utilización del Erblio y Lantano en las fibras ópticas para aumentar el ancho de banda e incrementar la transferencia de datos. El Europio es utilizado para generar el color rojo en las pantallas de LCD y junto con el Disprosio se

utilizan en los reactores nucleares por su capacidad de absorción de neutrones; el Samario es un elemento imprescindible en la fabricación de los micrófonos de las guitarras eléctricas.

Muchos especialistas coinciden que las Tierras Raras harán la diferencia en nuestra supervivencia en el futuro, debido a que en la actualidad son componentes fundamentales de las tecnologías verdes.



Uno de los usos más curiosos, poco conocido y cotidianos de las tierras raras, es la fabricación de las camisas incandescentes para los soles de noche a gas. Ésta consiste en una malla de nylon impregnada en una solución de nitrato de Itrio (hasta el año 2000 se utilizaba nitrato de Torio, pero al ser radioactivo se consideró nocivo para la salud), a la cual se le agrega Cerio para aumentar el brillo de la luz emitida y Berilio para la resistencia de la camisa.

Desde el punto de vista económico existen 17 elementos clasificados como Tierras Raras (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Y, Lu, Sc, Y); de éstos, algunos son más valiosos que otros. La demanda mundial de algunos de estos metales es superada por la oferta actual y la demanda ya no se mide en Kg/año sino en Kg/mes.

Hay muchos sitios en el mundo en donde se encuentran disponibles las Tierras Raras, pero son muy pocos en los que se encuentran como depósitos comercialmente rentables. Actualmente China controla entre el 95%–97% del suministro mundial de Tierras Raras y recientemente decidió que necesita aumentar y buscar nuevas reservas para fuentes de suministro, ya que están al límite de sus necesidades internas. Estos elementos son tan importantes en Asia que Tim Folger, en el artículo que publicó National Geographic en junio de 2011, las calificó como “El Ingrediente Secreto (Chino) de (casi) todas las cosas”.

En la industria se utilizan principalmente las Tierras Raras Pesadas, lo que es un efecto vinculado a su proceso de obtención, separación y selección, ya que las Tierras Raras con mayor peso atómico son las más fáciles de separar de los minerales que las contienen. Esto provoca que la mayoría de las compañías se centren actualmente en la minería de las Tierras Raras Pesadas, lo que impone un nuevo reto para muchos científicos, quienes deben abocarse a los complejos desafíos que presenta la tarea de desarrollar métodos de procesamiento mineral y metalúrgico óptimos para separar tanto las Tierras Raras Pesadas como Livianas del mineral que las contiene, de una forma sencilla y económicamente viable.



EL USO CIENTÍFICO DE LAS TIERRAS RARAS

Para los geólogos y otros estudiosos de las Ciencias de la Tierra, el uso de las Tierras Raras es una herramienta de gran valor. Los métodos analíticos que permiten obtener las concentraciones de estos y otros elementos químicos en las rocas requieren equipamiento de alta tecnología. Así el conocimiento de la concentración de tierras raras, sumado a las características de las rocas, permite inferir dónde comenzó la historia de formación de una roca y su historia evolutiva (por ejemplo manto o corteza). Las Tierras Raras se utilizan también para estudiar la historia del universo y la de nuestro planeta y reconstruir su larga y compleja evolución.

¿DÓNDE ESTÁN LAS TIERRAS RARAS?

Existen diferentes tipologías de yacimientos minerales donde se pueden encontrar las Tierras Raras, pero estos yacimientos son muy escasos. Entre los más importantes a nivel mundial está la mina Longman, en Xunwu (China) donde los elementos de Tierras Raras se encuentran adsorbidos en arcillas, por lo que son depósitos residuales. Existe además otros tipos de depósitos vinculados a “carbonatitas”, ejemplos de esta tipología a nivel mundial son: Mt. Pass (USA), Weshan, Maoniuping (China), Mount Weld (Australia), Araxá, Catalão y Barra do Itapirapuã (Brasil). En Argentina también existen carbonatitas, en la Sierra de Rangel, en la región de la Puna en el límite de las provincias de Salta y Jujuy. Además, existen también otro tipo de depósitos vinculados a rocas magmáticas en el Batolito Las Chacras, en la provincia de San Luis.

¿QUÉ SON LAS CARBONATITAS?

El término carbonatita es utilizado por algunos geólogos para describir rocas esencialmente ricas en carbonatos que se forman en el interior de la Tierra vinculadas a magmatismo alcalino (Figura 4). En 1895, Högbon propuso por primera vez el origen magmático para las inusuales “calizas” que encontró mientras estudiaba las rocas carbonatadas de las islas Alnö (Suecia). El término “carbonatita” fue adoptado por primera vez por Brögger en 1921 para describir las rocas de composición

esencialmente carbonatada de origen ígneo, del complejo alcalino de Fen en Noruega. Más adelante, entre 1950 y 1970, fueron descubiertos y descriptos numerosos afloramientos de este tipo de rocas en todo el mundo. Aparte de tener un gran interés económico por ser fuente de Nb, Zr y Tierras Raras, también tienen importancia científica.

Este tipo de rocas de origen magmático y ricas en carbonatos, fueron clasificadas por diferentes autores en base a su temperatura de cristalización, profundidad de emplazamiento, composición mineralógica esencial y accesorio o por sus singularidades geoquímicas. La profundidad a la que se forman constituye una característica diferencial muy importante, ya que existen magmas de composiciones similares que se forman a mayor profundidad generando otro tipo de rocas, como por ejemplo las kimberlitas, que son rocas ricas en carbonatos, algunas de las cuales contienen diamantes. La profundidad de localización de complejos de rocas carbonatitas por lo general es próxima a la superficie, aunque el origen de los magmas que originan estas rocas se genera a gran profundidad y llegan



Figura 4: Carbonatita de Jacupiranga, Brasil: roca compuesta de calcita, magnetita y olivino. **Fotografía:** Eurico Zimbres.

próximas a la superficie de la corteza terrestre debido a las características de este tipo de magma rico en carbonatos: alta movilidad, fluidos saturados en dióxido de carbono (CO_2) y otros gases volátiles.

Los primeros trabajos de mineralogía relacionados a las carbonatitas en la década de 1950 nombran sólo unas 80 especies que componen este tipo de roca, pero con el paso del tiempo, 20 años después, se llegaron a describir hasta 200 especies minerales y esta lista sigue aumentando año a año a medida que se descubren nuevos minerales.

En la evolución de estos complejos ígneos (o de rocas) es frecuente que las cantidades de Tierras Raras varíen de manera significativa a lo largo del episodio de formación de las carbonatitas. Las Tierras Raras se encuentran concentradas en varios minerales económicamente importantes, tales como: Bastnäesita, Monacita, Xenotima, Allanita, entre los más comunes.



Figura 5: Minerales portadores de tierras raras. Fotografías; www.mindat.org

Este tipo de rocas particulares fueron descritas en todos los continentes, inclusive en la Antártida. Hay que resaltar que muchas de estas rocas se encuentran en Rusia y Canadá, aunque tienen una distribución irregular sobre la superficie terrestre y en algunos casos forman regiones y provincias alcalino-carbonáticas. Las provincias más estudiadas e importantes son las africanas, la de Escandinavia - Carelia - Kola, Groenlandia, la del este de Canadá y EEUU, la brasileña, la indochina y las de Siberia. Actualmente en Tanzania se encuentra el único volcán activo en el planeta que tiene una composición natrocarbonatítica: el volcán Ol Doinyo Lengai.



Figura 6: Vista desde el Norte de la Sierra de Rangel (Cortesía F. Hongn).

En la República Argentina el primer hallazgo de carbonatitas fue el de las Carbonatitas de Rangel, Salta (Figuras 6 y 7) destacándose por el volumen de roca localizado, su significado geológico y su potencial económico (Zappettini, 1989); luego se descubrieron otros depósitos similares vinculados a magmatismo alcalino, en sureste de Castro Tolay (sierra de Tusaquillas), cerro Fundición y Hornillos, en la provincia de Jujuy.

Los cuerpos mineralizados del distrito de Rangel se emplazan en la Sierra de Cobres, desde el río Las Burras al norte hasta el pueblo de Cobres al sur; el sector está ubicado predominantemente en territorio de la Puna de Salta. El acceso a la zona se puede realizar desde la ruta nacional N° 52 en dirección al paso internacional de Jama, como así también por la ruta provincial N° 38 que une la mencionada ruta con la localidad de San Antonio de los Cobres.

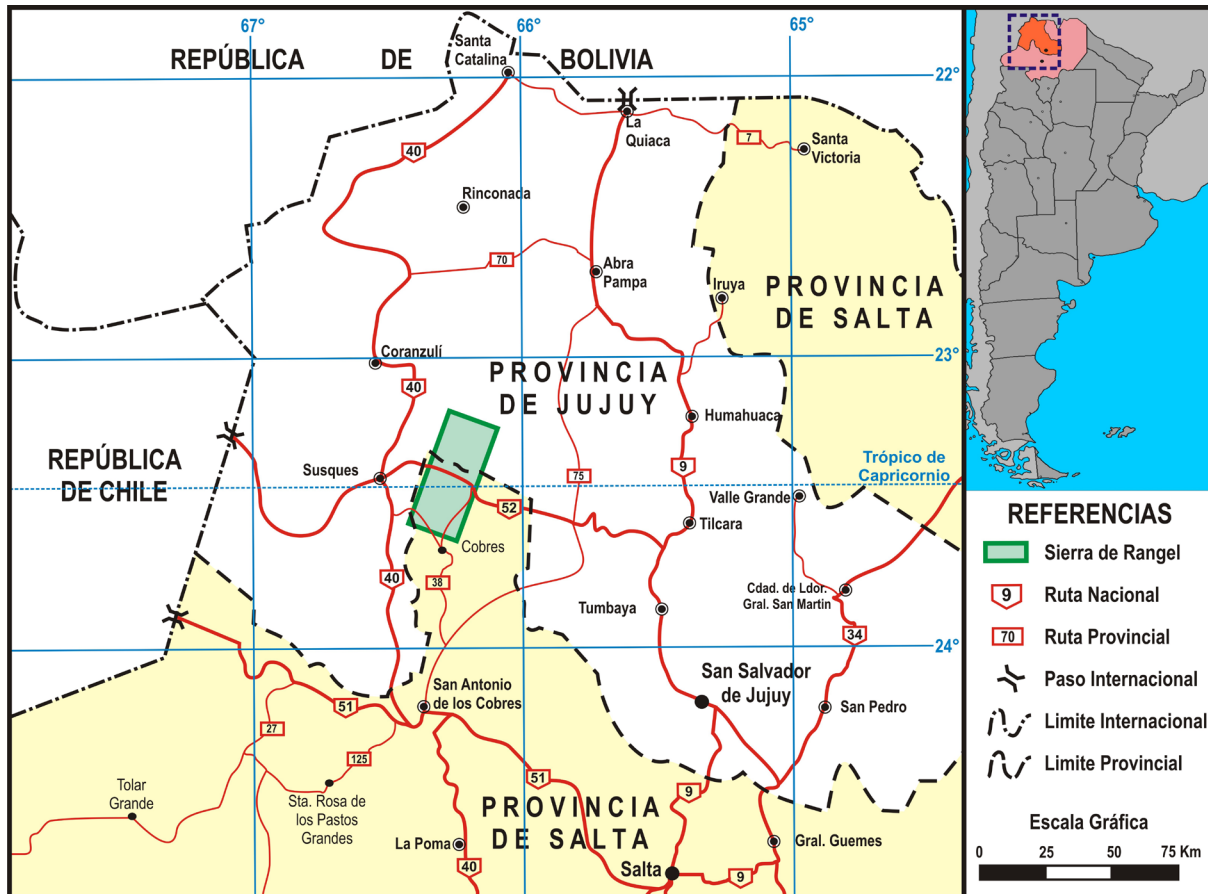


Figura 7: Mapa de ubicación geográfica de la Sierra de Rangel.

Debido a su contenido de Torio, estos afloramientos fueron estudiados a partir del año 1957 por la Comisión Nacional de Energía Atómica. Estas vetas fueron descritas en un principio como los diques portadores de mineralización torífera de las minas Rangel, La Barba, Curaca, Estrella de Oriente y La Aurelia y clasificadas como vetas hidrotermales de media a baja temperatura. Luego a través de los numerosos estudios, en las décadas del '80 y '90 se identificaron nuevos cuerpos, se logró definir el modelo metalogénico del área y su potencialidad económica como yacimiento de Tierras Raras (Zapettini, 1989). En 2001 estas rocas fueron estudiadas desde el punto de vista petrológico y geoquímico por Menegatti (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta).

El potencial económico del distrito Rangel aun no está determinado, pero es imprescindible fomentar los estudios y la formación de especialistas para la búsqueda, exploración y explotación sustentable de yacimientos de tierras raras en nuestro país. La utilización de estos elementos en las necesidades cotidianas de las actividades humanas los convierte en un recurso natural económicamente atractivo y con valor estratégico.

Las Tierras Raras son esenciales en el mundo actual ya que se usan en la fabricación de muchos productos importantes y tecnologías básicas que hacen a la calidad de la vida moderna; sin embargo, la mayoría de las personas no saben todavía lo que son o porqué son tan importantes para nuestro futuro. Muchos especialistas coinciden en que harán la diferencia en la supervivencia de la especie humana, ya que son componentes fundamentales de las tecnologías verdes.

Bibliografía consultada

Brod, J. A. 2012. Curso de posgrado "Geoquímica de Elementos de Tierras Raras". Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Brown, T. L., Le May, H. E., Bursten, B. E., Burdge, J. R. 2004. "Química, La Ciencia Central". Novena Edición. Editorial Pearson Educación, México. 1152p. ISBN 970-26-0468-0.

Folger, T. 2011. "El ingrediente secreto Chino de casi todas las cosas". National Geographic (en Español) Vol. 28 No. 6, 2011 / Página(s) 48-57.

Melgarejo, J. C. 1997. "Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada." Primera Edición. Publicaciones Universitat de Barcelona, España. Volumen N° 1, 447p. ISBN 84-475-2763-8

Menegatti, N. 2001. "El complejo alcalino Sierra de Rangel - Salta, Argentina". Tesis Doctoral de la Universidad Nacional de Salta, 157p.

Zapettini, E. O. 1989. "Geología y metalogénesis de la región comprendida entre las localidades de Santa Ana y Cobres, Provincia de Jujuy y Salta. Republica Argentina". Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, 215p.